

**Tesis Monográfica para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico**

Título

**“Diseño Eléctrico del Sistema Automatizado de Protección de un
Triturador Secundario Utilizado en la Industria Minera”.**

Autores:

- Br. Carlos Rafael Romero Mena 2012-42158
- Br. Kevin Missael Artica Cárdenas 2012-41170

Tutor:

MSc.Ing. Ernesto Jose Lira Rocha

Managua, Julio 2017

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	4
II.	Antecedente	6
III.	Planteamiento de la Situación	7
IV.	Objetivos del Estudio	8
4.1.	Objetivo General	8
4.2	Objetivo Específico	8
V.	Justificación	9
VI.	Marco Teórico	10
6.1	Trituradora	10
6.2	Tipos de trituradoras	10
6.3	Calidad y rendimiento en el diseño Triturador Serie MP 1000	14
6.4	Grupos Motrices	18
6.4.1	Motores eléctricos	19
6.4.1.1	Tipos de motores	19
6.5	Variador de frecuencia	20
6.6	Diagrama unifilar de la planta	25
VII.	Metodología de Trabajo	26
7.1	Recopilación de la información y trabajo de campo	26
7.2	Análisis de datos	26
7.3	Análisis de problemas potenciales	27
7.4	Búsqueda en el mercado local los equipos	27
7.5	Elaborar el informe del estudio para la implementación del sistema	27
VIII.	Software para el rediseño de la protección triturador	28
IX.	Elementos para el diseño del tablero de control	33
1)	Tableros de control	33
2)	Elementos de control	34
X.	Diseño propuesto de la lógica del sistema de protección	41
1.	Descripción breve del funcionamiento de un triturador secundario	41
2.	Diseño de la lógica de protección del triturador	41
3.	flujo de proceso	42

4.	Secuencia lógica para el funcionamiento de las protecciones	42
5.	Diseño del circuito mando del sistema de protección del triturador	43
6.	Diseño del circuito de fuerza del sistema de protección del triturador	45
XI.	Procedimiento para el montaje del tablero de control	46
XII.	Conclusiones	48
XIII.	Bibliografía	49

I. Introducción

El presente trabajo monográfico está orientado al mejoramiento del sistema de protección y tableros eléctricos implementados en diferentes trituradoras de piedra. La máquina está diseñada para disminuir el tamaño de los objetos mediante el uso de la fuerza, para romper y reducir el material o materia prima en una serie de piezas de volumen más pequeñas o compactas.

Las trituradoras de piedras, vienen desempeñando un rol muy importante en los diferentes procesos, esta se debe a varias razones entre las que destacamos tratamientos a los que se someten los minerales para separar y desechar sus fracciones carentes de valor. La minerales los constituyen materiales naturales, en su mayor parte rocas, que contienen una cantidad de elementos deseables, suficientes para justificar su explotación.

En muy raras ocasiones, los metales y minerales de importancia comercial se encuentran en forma y grados de pureza, que su utilización práctica exige. La sucesión de las operaciones principales en la explotación de un yacimiento mineral es el siguiente: extracción, preparación y purificación.

Para que una máquina de separación trabaje adecuadamente es preciso que las partículas minerales tengan plena libertad de moverse unas con respecto a las otras, por eso el mineral debe sufrir una adecuada reducción de tamaño; si se lleva a cabo una eficiente trituración, los tiempos de paso del mineral por cada una de las etapas siguientes dentro de la planta de beneficio disminuirán.

Esto influirá en una reducción de los costos de operación de la planta de beneficio, gasto energético, reactivos químicos, un aumento de la capacidad y además un buen flujo de lubricación garantizara el buen funcionamiento de la trituradora, evitando así que se dañe el motor principal.

Por tal razón surge la necesidad de mejorar el sistema de protección de la trituradora secundaria y mejorar su sistema de automatización aplicado a la misma.

Este estudio se centra en los sistemas de trituradoras utilizadas en la minería. Como ejemplos de aplicación se podrían citar, piedra triturada, piedrín, beta de oro, carbón, cemento etc.

Partiendo de la premisa se busca automatizar parte de los procesos, es obvio que existen varias maneras de lograr este propósito y una de ellas es el mejoramiento del sistema de protección.

Por tanto el control automático de los procesos en la actualidad es una disciplina que se ha desarrollado con una velocidad igual a la de la tecnología, la misma que tiene avances día con día; una de las razones por las que las industrias dudan mucho en automatizar sus procesos, es que los dispositivos que ofrecen este beneficio tienen costos elevados.

Por lo que tienen la necesidad de buscar alternativas que les proporcionen los mismos beneficios y características a un costo módico, la aplicación de sistemas semi automatizados en los procesos de la industria representa algunas ventajas para las empresas que deciden hacerlo una de ellas es el ahorro en el consumo de energía, el mismo que se ve reflejado en la economía de las mismas.

El estudio propone mejorar el diseño de funcionamiento eléctrico mediante la automatización y el control de una trituradora que proporcione protección a los dispositivos eléctricos de la misma, para mejorar de sus condiciones de trabajo.

II. Antecedente

Las trituradoras o chancadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir y disminuir el tamaño de los objetos mediante el uso de la fuerza, para romper y reducir el material o materia prima en una serie de piezas de volumen más pequeñas o compactas.

En este sentido el área de mantenimiento de la industria ha realizado algunas mejoras a las instalaciones eléctricas de las trituradoras, implementando más elementos y medios de protección, aumentando así los sistemas de seguridad.

Pero raramente se encuentran trituradoras de nueva implantación que cumplan con las necesarias premisas para la prevención de los riesgos profesionales

Actualmente la industria ha ejecutado una serie de medidas entre ellas los cambios en los diseños de accionamiento eléctrico y automatismo eléctrico de las trituradoras.

Con el sistema se han mejorados en el momento la lubricación de la misma, además el uso de variadores en motores de media potencia que arranquen con carga.

A pesar de todos estos cambios el sistema de lubricación de las trituradoras sigue siendo muy frágil para la protección del motor principal por tanto se necesita buscar nuevas alternativas de diseño eléctricos.

III. Planteamiento de la Situación

Son aparatos que funcionan con ayuda de los operarios, intercalados en las líneas de proceso, por lo tanto requieren generalmente de un operario que manipule directamente sobre ellos de forma continua, de tal manera que si la temperatura de lubricación supera el set point , el operario debe detener inmediatamente el motor de la criba y el motor de la banda que alimenta la criba, también se activa un timer el cual da cierto tiempo para q el triturador desaloje la recamara de trituración y luego se detenga.

Por otro lado el operario suele considerar que las trituradoras son elementos que únicamente complican y encarecen las instalaciones; por ello no suele prestarse la adecuada atención a todas aquellas características que no sean la potencia de su motor y la capacidad de transporte en toneladas/hora, olvidándose de las cotas de seguridad necesarias frente a los riesgos que como máquinas presentan, o, lo que es más grave, considerando las protecciones como elementos "accesorios o suplementos" que únicamente encarecen la instalación.

Ya que la máquina en su estado actual no logra este objetivo, es necesario realizar el control de algunos parámetros como velocidad, paros de emergencias que permitirían caracterizar y estandarizar los procesos de transportes de materiales.

En la actualidad las trituradoras procesan diferentes tipos de materiales. Para accionar la misma se usan motores que superan los 180 hp de potencia con una velocidad nominal de 1800 rpm en promedio, el arranque es directo trayendo consigo muchos paros en los procesos, alto consumo energético, desgaste mecánico, rodamientos etc...

El resultado por el cual estos elementos mecánicos sufren desgaste es que la variación de velocidad existente no ofrece los rangos necesarios para normalizar los esfuerzos presentes en el proceso. De lo expuesto anteriormente se presenta la necesidad de implementar un sistema de control para la protección.

IV. Objetivos del Estudio

4.1. Objetivo General

- Diseñar el sistema automatizado de protección de un triturador secundario utilizado en la industria minera.

.4.2 Objetivo Específico

- Rediseñar el esquema eléctrico del triturador secundario que proporcione mejor protección y rendimiento del triturador.
- Elaborar un diseño automatizado del diagrama de fuerza y mando para el control del triturador secundario.
- Estudiar las características de los diferentes tipos de máquinas trituradoras
- Utilizar el software de simulación CADE_Simu para el diseño del sistema automatizado de la trituradora.

V. Justificación

Con esta nueva propuesta se busca en la trituradora mejorar los tableros de control con planos de montaje y diagramas de control, así es fácil y cómodo encontrar alguna falla o daño de un elemento para reemplazar o corregir dicho problema.

Dentro del proceso de triturado de piedra es fundamental el control eléctrico, donde los tableros con elementos importantes como contactores, arrancadores suaves, variadores de velocidad y elementos secundarios como luces pilotos, pulsadores, relés auxiliares permitirán al operador de trituración manejar el proceso de trituración de piedra de una manera fácil y sencilla

También mejoras en el control operativo que optimizan la rentabilidad y productividad de los procesos, a la vez minimizan las pérdidas en instalaciones ya que los equipos demandaran de la red menores potencias en cualquier régimen de trabajo incluso en el arranque

Este trabajo va dirigido a técnicos que desean aprender a cablear un tablero eléctrico de control, en base a planos de montaje, diagramas de control y fuerza y también da a conocer cómo utilizar una tabla de fijación de cables la cual es muy útil en este tipo de tableros. Con los planos realizados en este proyecto se nos facilita la localización de fallas, o para la realización de mantenimiento de los tableros para alargar la vida útil de los equipos instalados en los tableros eléctricos de control.

Se tiene un mayor control en el proceso de trituración de los materiales, además ahorros de energía en el arranque y las paradas que se realizan con rampas de aceleración y desaceleración, trayendo consigo menores esfuerzos y por lo tanto menores desgastes en los elementos de todo el sistemas de la banda.

VI. Marco Teórico

La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. El triturado es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de un material por medio de la molienda.

6.1 Trituradora

Es un dispositivo o máquina diseñada para disminuir el tamaño de los objetos mediante el uso de la fuerza, para romper y reducir el material o materia prima en una serie de piezas de volumen más pequeñas o compactas.

La trituración de los materiales se realiza en tres etapas: Primaria, secundaria y terciaria. Las rocas pueden pasar a través de un máximo de cuatro trituradoras para lograr el tamaño deseado. Cuando una roca pasa a través de una trituradora su tamaño se reduce; una expresión que se refiere como la relación de reducción.

6.2 Tipos de trituradoras

a) Generalidades

Las trituradoras se emplean especialmente en la construcción o en minería, para romper rocas y reducirlas a un tamaño aún más pequeño.

Algunas de las trituradoras estacionarias son:

- **Trituradora de mandíbula.**
- **Trituradora de cono.**
 - Trituradora de cono resorte.
 - Trituradora de cono hidráulica.

➤ **Trituradora de impacto o de tipo europeo.**

- Trituradora de impacto hidráulica.
- Trituradora de impacto de eje vertical.
- Trituradora de impacto de eje vertical con cámara profunda.
- Trituradora de impacto de eje horizontal.

➤ **Trituradora de rodillos.**

b) Trituradora de mandíbula

Constan de dos placas de hierro instaladas de tal manera que una de ellas se mantiene fija y la otra tiene un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento a la placa fija, durante el cual se logra fragmentar el material que entra al espacio comprendido entre las dos placas (cámara de trituración).

Hay tres tipos de trituradoras de mandíbulas de acuerdo con el lugar que ha sido fijada la placa móvil; son las siguientes:

- Trituradora tipo Blake, fijada en el punto más alto.
- Trituradora tipo Dodge, fijada en el punto más bajo.
- Trituradora tipo Universal, fijada en el punto medio.

c) Trituradora de cono

Consisten en un eje vertical largo articulado por la parte superior a un punto llamado cojinete en forma de araña y por la parte inferior a un excéntrico. Este eje lleva consigo un cono triturador. Todo este conjunto se halla ubicado dentro de un cóncavo o cono fijo exterior. El conjunto, eje y cono triturador se halla suspendido del cojinete en forma de araña y puede girar libremente (85 – 150 rpm), de manera que en su movimiento rotatorio va aprisionado a las partículas que entran a la cámara de trituración (espacio comprendido entre el cono triturador y el cóncavo) fragmentándolas continuamente por compresión.

La acción de esta trituradora puede compararse con la acción de varias trituradoras de mandíbulas colocadas en círculo. El tamaño de estas máquinas se designa por las dimensiones de las aberturas de alimentación y el diámetro de la cabeza.

d) Trituradora de impacto o de tipo europeo

La trituradora de impacto se compone principalmente de chasis, rotor, la transmisión del rotor y las placas de impacto. Las trituradoras de impacto son mecánicas, utilizadas para triturar los materiales usando la energía de impacto

Los materiales entran en la cámara de trituración desde la boca de alimentación. El rotor gira a alta velocidad cuando la máquina trabaja. Los materiales serán despedazados por el impacto con el martillo del rotor, y serán tirados a la placa de impacto. Así repite el proceso y los materiales serán triturados repetidamente. Los productos finales serán descargados hasta que completen la granularidad necesitada

e) Trituradora de rodillos.

El modo de operación es muy simple. Consiste en dos rodillos horizontales los cuales giran en direcciones opuestas. El eje de una de ellas está sujeto a un sistema de resortes que permite la ampliación de la apertura de descarga en caso de ingreso de partículas duras. La superficie de ambos rodillos está cubierta por forros cilíndricos de acero al manganeso, para evitar el excesivo desgaste.

f) Pasos de la conminución.

El proceso de conminución comprende dos etapas que se desarrollan secuencialmente: la trituración y la molienda. Existen tres tipos de básicos de circuitos de conminución.

Circuito cerrado convencional en tres etapas: trituración, molienda en molino de barras y molienda en molino de bolas.

- Trituración primaria y molienda autógena.
- Trituración primaria, trituración secundaria y por ultimo molienda fina en molino de bolas.

La trituración primaria es la fase inicial de reducción de tamaño, y consiste en tomar el mineral que sale de la mina y llevarlo finalmente a tamaños desde 25-30 cm. hasta 10-15 cm.

La trituración secundaria es el paso siguiente de reducción de tamaños, y tiene por objeto reducir la MENA hasta un tamaño apropiado (1.27 a 0.635 cm.) de manera que permita efectuar una molienda económica, ya que ésta es la operación más costosa de todo el procesamiento de minerales.

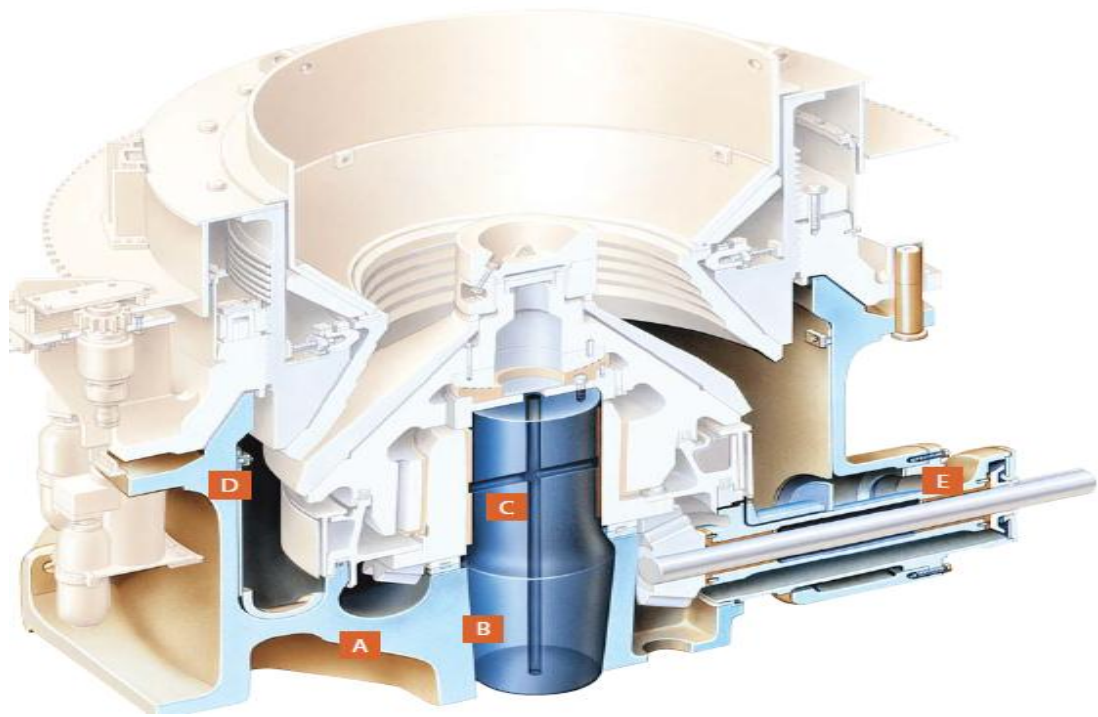
La molienda parte de los productos obtenidos en la trituración secundaria, reduciéndolos a un tamaño de 0.15 mm. La molienda consta generalmente de una serie de fases intermedias en las que se utilizan tamices y dispositivos para determinar las dimensiones del mineral. Esta operación puede realizarse por vía seca o húmeda, siendo esta ultima la más corriente.

6.3 Calidad y rendimiento en el diseño Triturador Serie MP 1000

Los chancadores de la serie MP sobrepasan el rendimiento de la competencia, ya que la resistencia y la habilidad de chancado superior están diseñadas en cada componente. La atención que se pone en cada detalle de cada característica del diseño y del proceso de ingeniería es la razón por la cual la serie MP puede soportar grandes fuerzas de chancado día tras día, prácticamente sin mantención.

➤ **Cuerpo y eje principal**

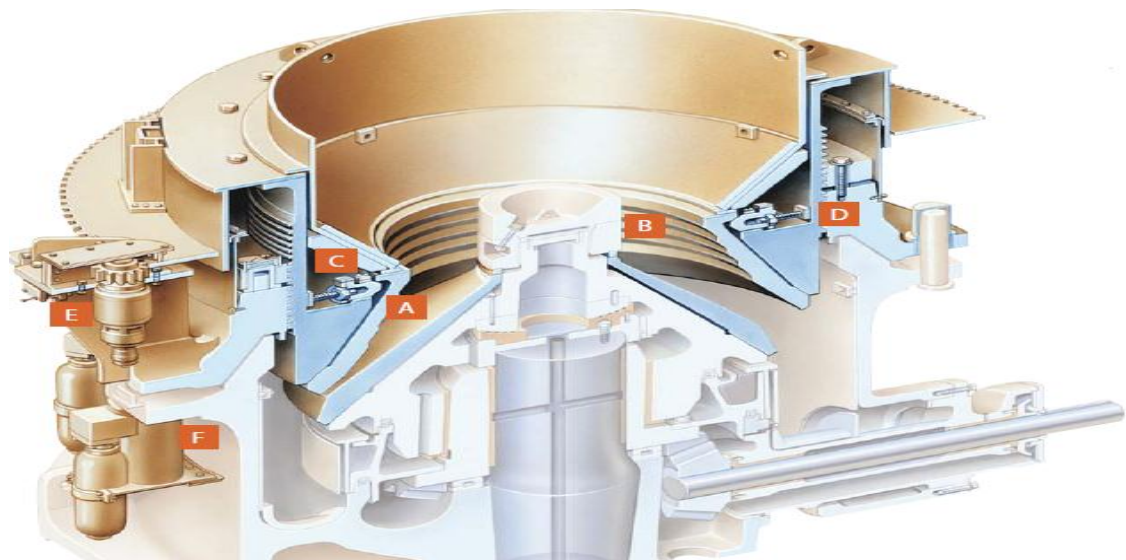
- A. El cuerpo principal fundido tiene un diseño resistente para soportar cargas máximas de chancado y está fabricado según especificaciones precisas de tratamiento metalúrgico y de calor. Los materiales de acero de gran resistencia garantizan durabilidad en condiciones de chancado difíciles.
- B. El eje principal tipo pedestal se mantiene de manera rígida en el diámetro interno cónico en el centro del cuerpo del chancador. El eje principal está forjado en acero aleado de gran resistencia.
- C. El eje principal proporciona la distribución de aceite a varios cojinetes de alto rendimiento.
- D. Los revestimientos y las protecciones de desgaste resistentes a la abrasión proporcionan más protección a áreas expuestas al paso de material por el chancador. Los brazos y las protecciones de la caja del contraeje están fundidos en una aleación resistente al desgaste Ni-hard de alto contenido de cromo. Los revestimientos del cuerpo principal están apernados al bastidor principal para facilitar su reemplazo.
- E. El conjunto del contraeje está apoyado sobre bujes de bronce. El conjunto completo de la caja del contraeje se puede retirar para facilitar la mantención.



➤ **Movimiento, ajuste y sistema de liberación MP 1000**

- A. La cavidad de chancado y el movimiento único de la cabeza marcan el comienzo de un rendimiento constante incluso a medida que los parámetros de chancado cambian. El diseño de la cavidad se basa en años de experiencia en chancado en un amplio rango de aplicaciones desde chancado grueso a fi no. Los revestimientos se seleccionan o diseñan para cumplir los requisitos del cliente para el rendimiento total, reducción de tamaño y modelado de partículas.
- B. El cono MP comienza el chancado del material en un alto factor de reducción inmediatamente después de la entrada a la cavidad de chancado. Este movimiento de chancado activo en la parte superior de la cavidad de chancado evita la obstrucción de la cavidad que normalmente se enfrenta en máquinas con un movimiento de cabezal más restringido.

- C. Las cuñas que retienen el bowl enganchan una hélice de autoapriete en la sección superior del bowl liner. El sistema de retención de cuña/hélice es simple y confiable.
- D. Los ajustes de configuración del chancador se logran al girar el conjunto del bowl por el anillo de ajuste roscado, así los revestimientos del bowl se desgastan de manera uniforme y entregan una utilización máxima del metal y una vida útil más larga. Este método de ajuste del bowl rotatorio garantiza la mantención de un ajuste uniforme para permitir la reducción constante de material a medida que se desgastan los revestimientos.
- E. Los motores hidráulicos para servicio pesado giran el bowl, lo que permite el control fino de las configuraciones desde ubicaciones remotas. Estos mismos motores hidráulicos también pueden girar el bowl por completo fuera del anillo de ajuste a velocidades más altas para cambios del revestimiento, lo que simplifica la mantención.
- F. En el caso poco probable de que la producción se detenga, el sistema de limpieza hidráulica se usa para limpiar el material de la cavidad del chancador. El gran recorrido de limpieza disponible con el sistema de limpieza hidráulica se logra independiente del desgaste del revestimiento, como es típico en sistemas que ofrecen otros fabricantes de chancadores.

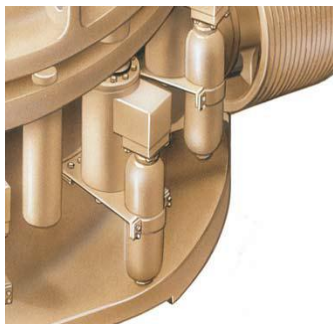


➤ **Los componentes hidráulicos garantizan una operación fácil, rápida y segura.**

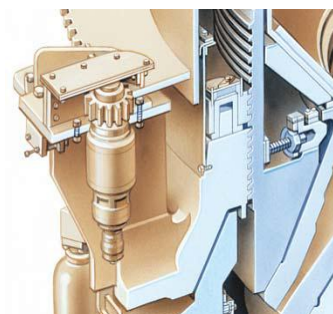
Los cilindros de bloqueo hidráulico proporcionan una fijación positiva del bowl durante el chancado. El ajuste de la configuración del chancador durante el chancado se logra con las funciones de automatización en los cilindros de bloqueo y en los motores de transmisión para servicio pesado.

Los sensores de vibración confiables y probados alertan al usuario o al sistema de automatización cuando se encuentra una fuerza de chancado de sobrecarga. Comúnmente, no se requiere de una acción correctiva ya que el chancador regresa automáticamente de manera instantánea para ejercer grandes fuerzas de chancado a la piedra, según la configuración de lado cerrado que se desee.

Cada una de estas funciones se controla de manera independiente desde una consola remota hidráulica. No es necesario que el operador se ubique cerca del chancador durante la operación. Un sistema acumulador hidráulico/ con nitrógeno, con cilindros hidráulicos de doble función patentados, proporciona protección de sobrecarga y una forma rápida, fácil y segura de prevenir o despejar una cavidad atascada.



La liberación hidráulica de fragmentos está completamente automatizada para pasar materiales que no se pueden chancar sin interrumpir la producción. Los acumuladores hidráulicos garantizan una respuesta instantánea de los componentes hidráulicos a una condición de acero fragmentado.



Un motor hidráulico facilita el retiro completo del bowl sin la necesidad de montaje en altura o medios manuales para girarlo hacia fuera.

6.4 Grupos Motrices

El grupo motriz de una banda transportadora es uno de los componentes más importantes de la misma. De la adecuada elección de los elementos que la forman, depende la seguridad de funcionamiento y la vida de la banda.

La forma en la que se efectúa el arranque, influye en la vida y comportamiento de los componentes del grupo motriz, y así mismo en la vida de la banda, tambores y rodillos.

También afecta al comportamiento de la banda en las curvas verticales, recorrido de los tambores tensores y a la pérdida de fricción en el tambor motriz. Tres reóstatos para el control de las 4 zonas de temperaturas. La zona 3 y 4 están fusionadas en un solo control.

Los componentes del grupo motriz, señalados en el orden de entrada a salida del movimiento son:

- *Motor eléctrico.*
- *Acoplamiento de alta velocidad, puede ser elástico o fluido.*
- *Acoplamiento de baja velocidad.*
- *Dispositivo anti-retorno.*
- *Freno.*

El motor, el reductor y el freno, están unidos a una bancada. En motores de potencias pequeñas, el motor y el reductor forman una sola unidad, suprimiéndose así la bancada.

6.4.1 Motores eléctricos

La primera condición al elegir un motor, es que la potencia del mismo sea al menos igual a la potencia requerida en el eje de salida del reductor, dividida entre el rendimiento del mismo.

En los casos en que existen posibilidades de sobrecarga de larga duración o no se tenga seguridad en el valor de la potencia calculada, hay que multiplicar ésta por un factor de servicio, con el fin de tener en cuenta estas circunstancias.

En potencias grandes, en las que el paso de un tamaño de motor al inmediato supone un incremento importante del coste, debe tenerse muy en cuenta la elección del factor de servicio adecuado.

Desde el punto de vista del arranque, la elección de un motor sobredimensionado no es buena, al existir pares de arranque elevados y por tanto grandes aceleraciones si el arranque se efectúa de forma directa.

Las potencias indicadas en la placa de características de los motores, son las disponibles en el eje de los mismo, para un trabajo continuo y manteniendo una temperatura estable.

6.4.1.1 Tipos de motores

Los empleados en cintas transportadoras, generalmente son:

- De corriente alterna:
 - De jaula de ardilla, que es el más empleado.
 - De rotor bobinado.
- De corriente continua, mucho menos empleado.

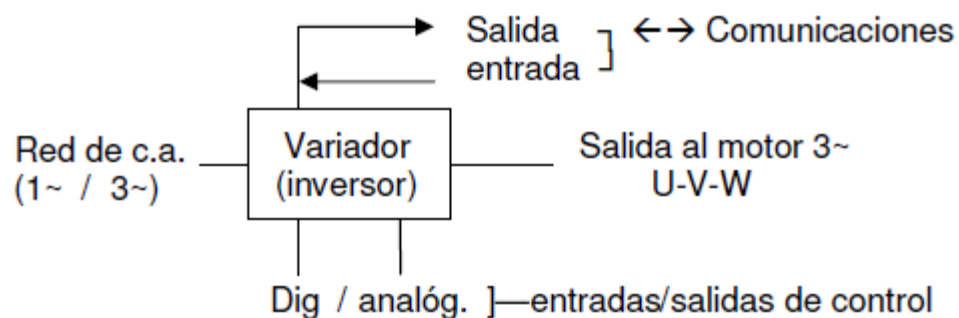
6.5 Variador de frecuencia

En un motor de inducción, cuando se conecta el estator a una fuente de potencia trifásica, se genera un campo magnético rotatorio que gira de acuerdo a la frecuencia de la fuente. Por consiguiente, la velocidad del motor depende de la frecuencia aplicada, así como del arreglo del devanado y, en menor medida, de la carga.

Por lo tanto, para controlar la velocidad de un motor de inducción es necesario controlar la frecuencia de la fuente de alimentación.

Conceptos y definiciones básicas

Variadores de frecuencia: se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula inversores (inverter). También se les suele denominar inversores (invertir) o variadores de velocidad.



Red de suministro: acometida de c.a., monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kW (2 C.V. aprox), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kW o más.

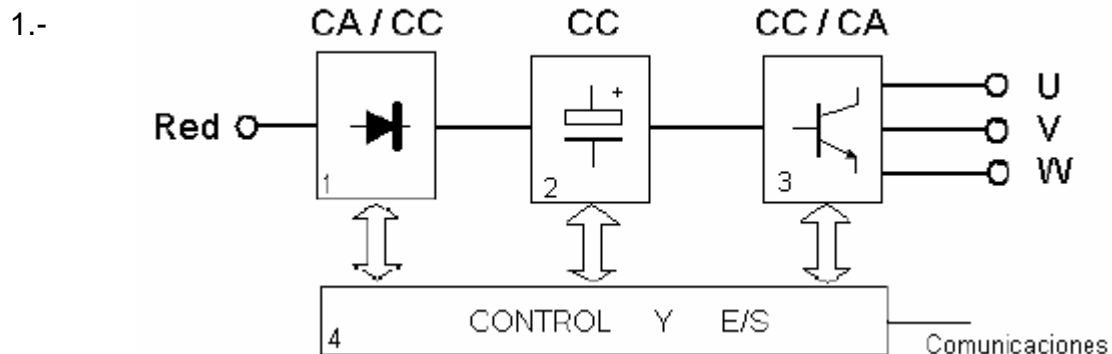
Entradas y salidas (E/S ó I/O): diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé...) o analógicas mediante valores de tensión

(0...10 V o similares) e intensidad (4...20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc.

Comunicaciones: estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus...) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados.

Salida: conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

Diagrama en bloques de un variador



1. Rectificador: partiendo de la red de suministro de c.a., monofásica o trifásica, se obtiene c.c. mediante diodos rectificadores.
2. Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificada, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.
3. Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulador convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de

conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como troceado, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante modulación por anchura de impulsos **PWM**.

4. Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario.

Conceptos básicos sobre variadores para motor trifásico

Velocidad (n): la velocidad en el eje de un motor asíncrono en rpm, depende del número de polos magnéticos del motor, y la frecuencia f (Hz), de la red de suministro:

$$n = 60 \frac{f}{2p}$$

Dónde: n = velocidad en rpm

f = frecuencia de la red en Hz

2p= número de pares de polos del moto

Ejemplo, para red de 50 Hz:

2p = 1; n=3000 rpm **2p**=2; n=1500 rpm **2p**=3; n=1000 rpm...etc.

La velocidad real de giro siempre es menor que la expresada, al ser motores asíncronos. La diferencia entre **n_{SINCRONA}** y **n_{ASÍNCRONA}**, se denomina deslizamiento, (σ ó s) que se expresa en porcentaje de rpm o en valor absoluto:

$$\left. \begin{array}{l} n_{\text{SINCRONA}} = 1500 \text{ rpm} \\ n_{\text{ASÍNCRONA}} = 1440 \text{ rpm} \end{array} \right\} \text{Deslizamiento } \sigma = 4\% \text{ ó } 60 \text{ rpm}$$

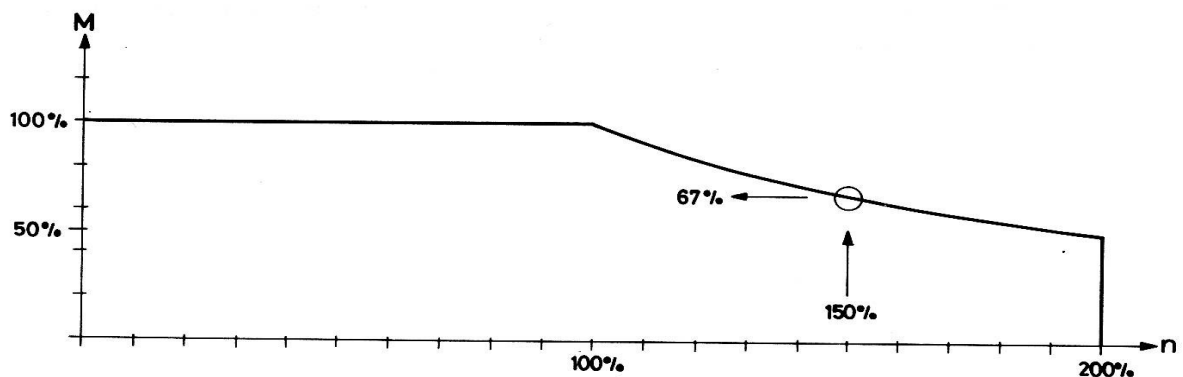
Los motores se fabrican para una velocidad nominal o de trabajo determinada, pero mediante el variador de frecuencia dicha velocidad puede controlarse de

manera progresiva. Por ejemplo, un motor de 50 Hz y 1500 rpm (4 polos), podría girar, con variación de frecuencia entre 5 y 120 Hz a velocidades comprendidas entre:

$$n = (60 \cdot 5) / 2 = 150 \text{ rpm} \quad \text{y} \quad n = (60 \cdot 120) / 2 = 3600 \text{ rpm}$$

Sobre-velocidad: el variador puede proporcionar frecuencias de salida superiores a la de trabajo del motor, lo que le hace girar a mayor velocidad que la nominal. La curva de par, para velocidad de trabajo mayor de la nominal, disminuye, de manera que con velocidad doble (200%) el par cae a la mitad del nominal.

La sobre velocidad es útil en aplicaciones que no requieren mucho par, como por ejemplo sierras de disco, pero si altas velocidades. En estos casos es importante tener en cuenta las características de par y temperatura de trabajo del motor.



Par transmitido por el eje (par motriz): la fuerza de tracción del motor a través del eje, depende principalmente de las expresiones siguientes:

$$T = 9550 \frac{P}{n} \quad T = K \left(\frac{U}{f} \right)^2$$

Dónde: T = par motriz (también suele usarse M o Mm) K y 9550 = constantes

U = tensión aplicada al inductor (estator) f = frecuencia en Hz

P = potencia del motor en kW n = velocidad (real) de giro del motor en rpm

Por otro lado, el flujo magnético en los polos del motor (Φ), depende de la tensión:

$U = K \cdot \Phi \cdot f \Rightarrow$ el flujo magnético:

$$\theta = K \left(\frac{U}{f} \right)$$

Es decir, el par depende *directamente* del flujo magnético, por lo que para obtener el control del par, hay que operar sobre este parámetro; por ello, si tenemos en cuenta las relaciones de par y velocidad:

Par constante = flujo constante, en consecuencia:

$$\frac{U}{f} = cte$$

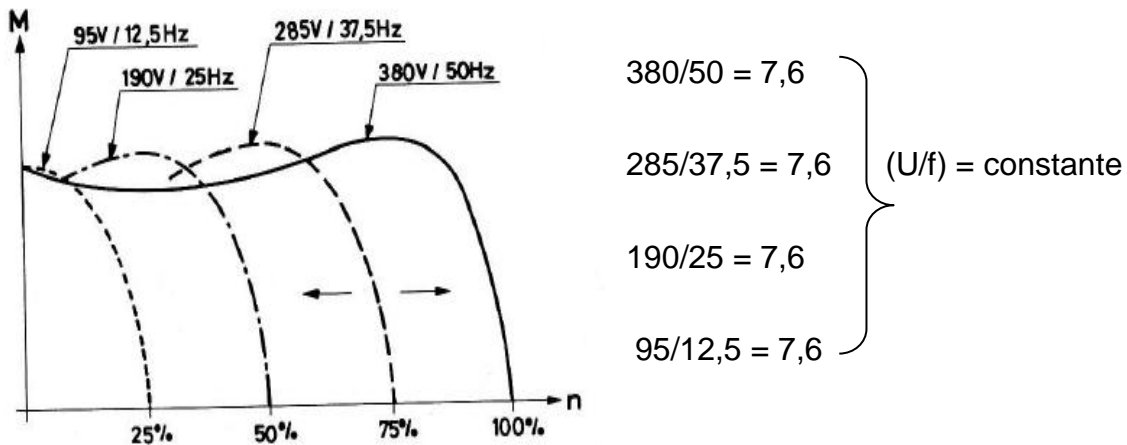
El factor U/f tiene especial importancia en la forma de configurar un variador, ya que de ahí dependerá el par motriz desarrollado por el motor, sin importar la velocidad de giro.

Además, de la primera expresión de T , vemos que el par es proporcional a U^2 , de manera que si U/f es constante, el par dependerá de manera directa de la tensión:

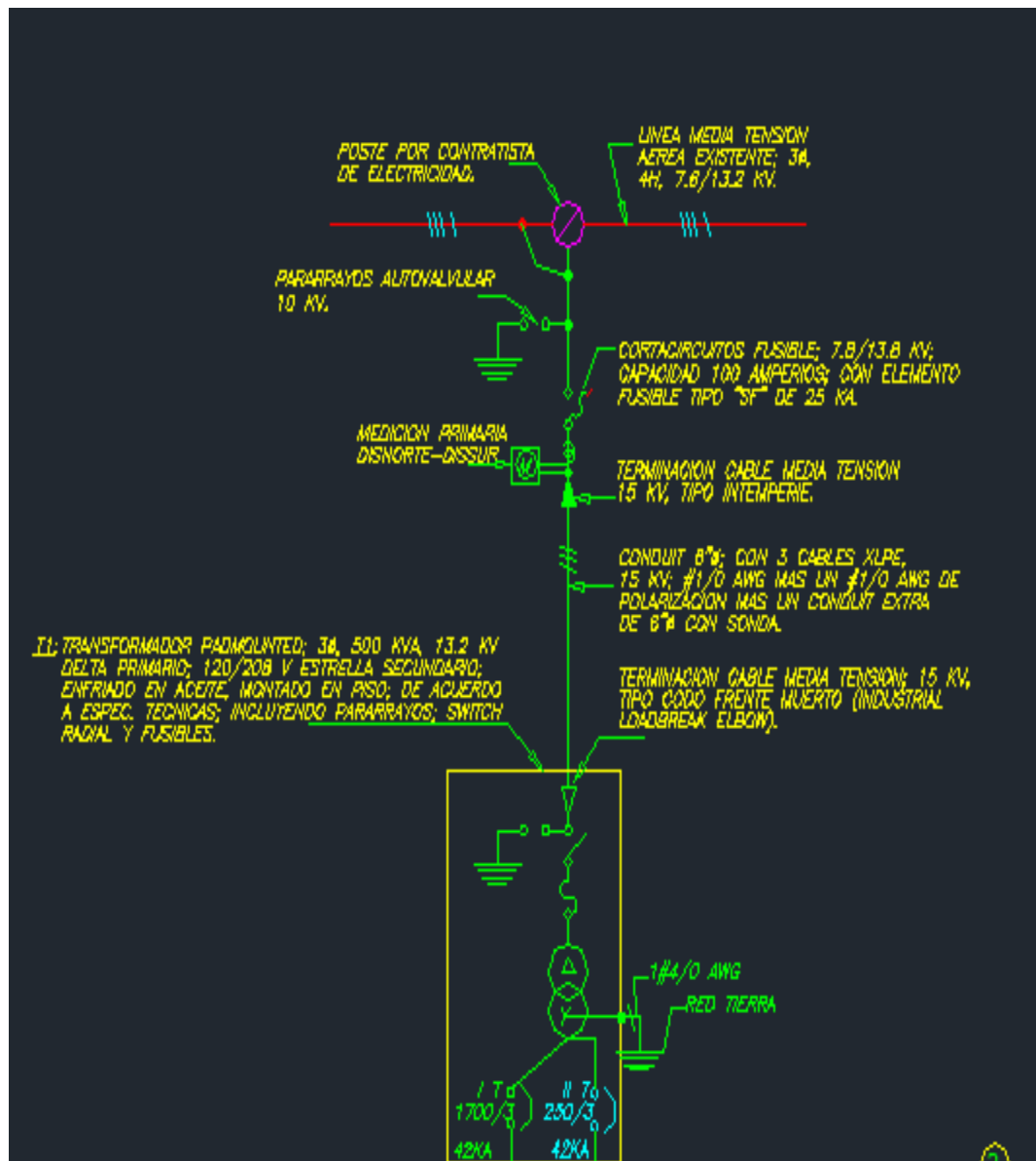
$$T \propto U^2$$

Ejemplo de curvas par-velocidad para par constante:

Motor de 380V y 50 Hz, para diferentes velocidades:



6.6 Diagrama unifilar de la planta



VII. Metodología de Trabajo

En esta metodología se hace un análisis del trabajo de la trituradora utilizada en la minería, los materiales que tritura y características de los elementos motrices, así como las normativas a cumplir en la implementación del nuevo sistema de protección de la trituradora, criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados.

7.1 Recopilación de la información y trabajo de campo

El objetivo es identificar los aspectos que permiten medir cada proceso, recopilar y clasificar los datos que afectan el buen funcionamiento del proceso de la trituración de materiales.

Algunos datos como el funcionamiento de arranque de la trituradora y los sistemas de seguridad o protección de la misma, velocidades del motor y control sobre el sistema.

7.2 Análisis de datos

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores del estudio, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, datos como:

- Funcionamiento del actual mecanismo.
- Elementos de seguridad y protección
- Gobierno del sistema

Con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad para mejorar el proceso que ofrezca el cambio de sistema de arranque y gobierno.

7.3 Análisis de problemas potenciales

Identificar cualquier problema potencial para adelantarnos a la falla y darle la solución más adecuada para evitar posibles paradas de planta innecesarias.

Realizar un diagrama de esfuerzos, que permita ver hacia dónde va el proceso, si está mejorando o empeorando

7.4 Búsqueda en el mercado local los equipos

De acuerdo a la teoría desarrollada y a las necesidades que presente la planta se necesita la búsqueda empresas distribuidoras de convertidores de frecuencia para la evaluación de las propuestas, en cuanto a los siguientes aspectos:

- Soporte técnico
- Capacidad de adquisición de variadores
- Instalación del equipo
- Capacitación del personal en manejo, operación y programación de los variadores.
- Costo

7.5 Elaborar el informe del estudio para la implementación del sistema

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del estudio del uso e implementación del nuevo sistema de automatización de la trituradora, haciendo énfasis en las oportunidades de la mejora de los procesos e incluso ahorro de energía.

VIII. Software para el rediseño de la protección triturador

Herramienta CADE-SIMU

CADE-SIMU es un programa de edición y simulación de esquemas de automatismos eléctricos. No tiene instalador, se trata de un archivo en formato .ZIP que debe descomprimirse en cualquier carpeta y haciendo doble clic en el ejecutable, basta para que funcione. Además solicita una clave de acceso.

Los nuevos diseños eléctricos elaborados se guardan por defecto con la extensión .CAD, debemos siempre ejecutar el programa y después abrir el archivo que deseamos editar, no utilizar el doble clic sobre el archivo.

Interfaz del Programa CADE-SIMU

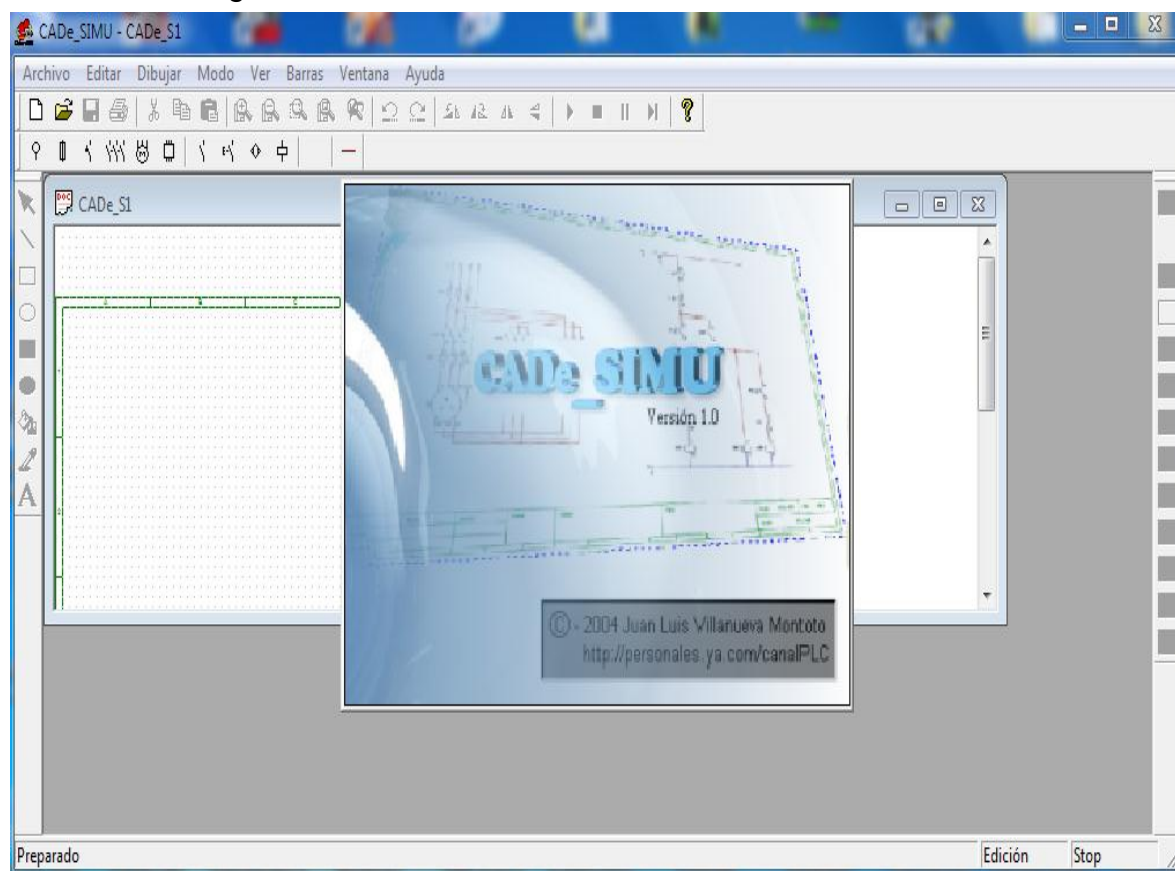
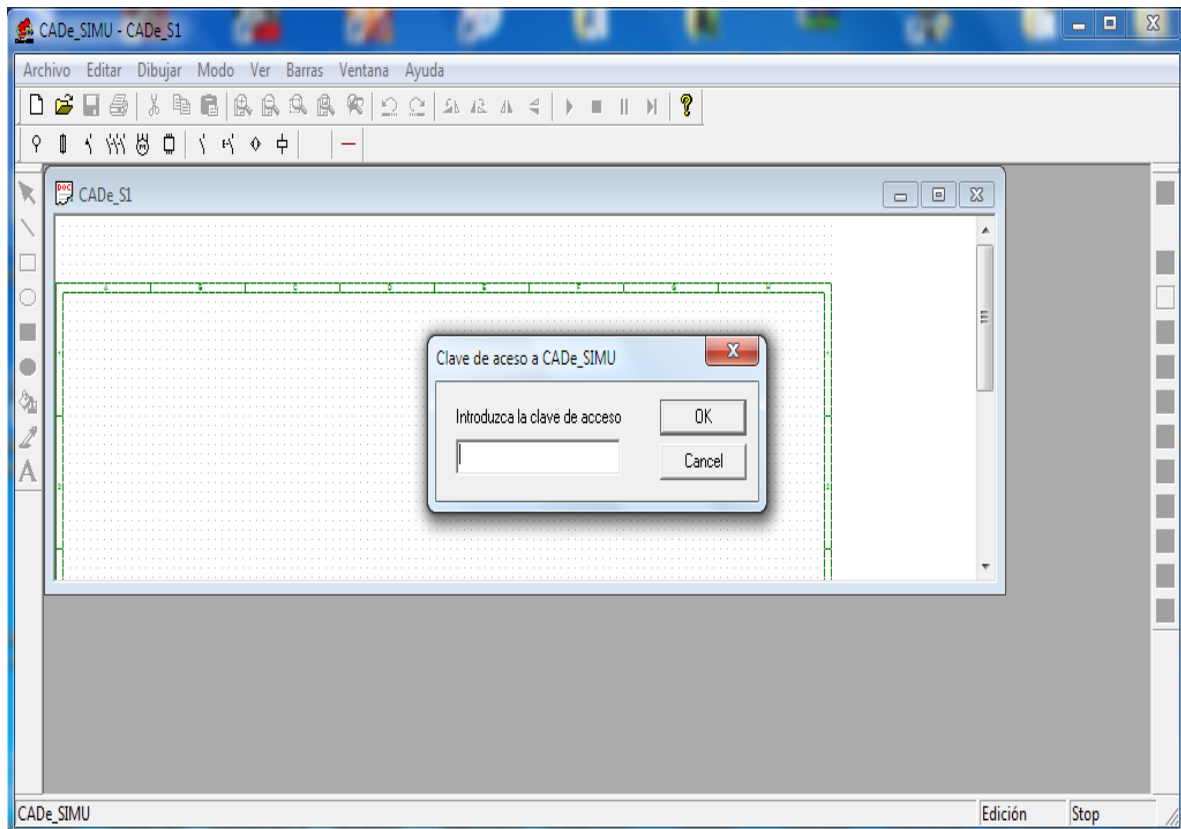
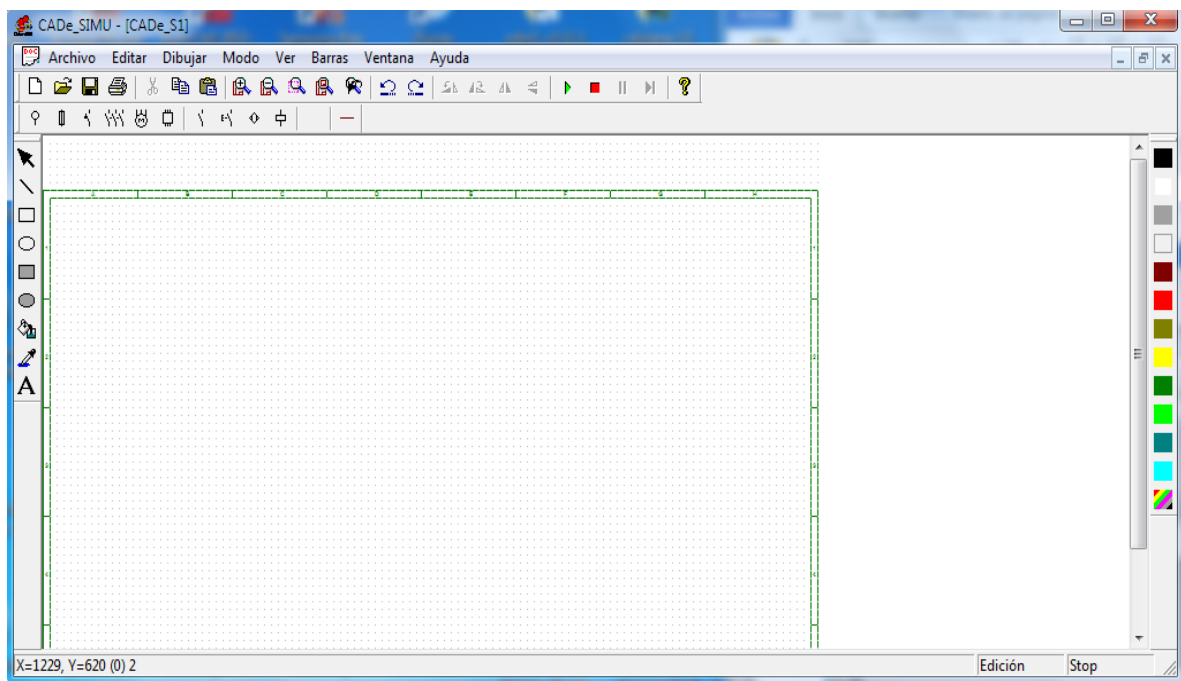


Figura : Interfaz del programa CADE-SIMU

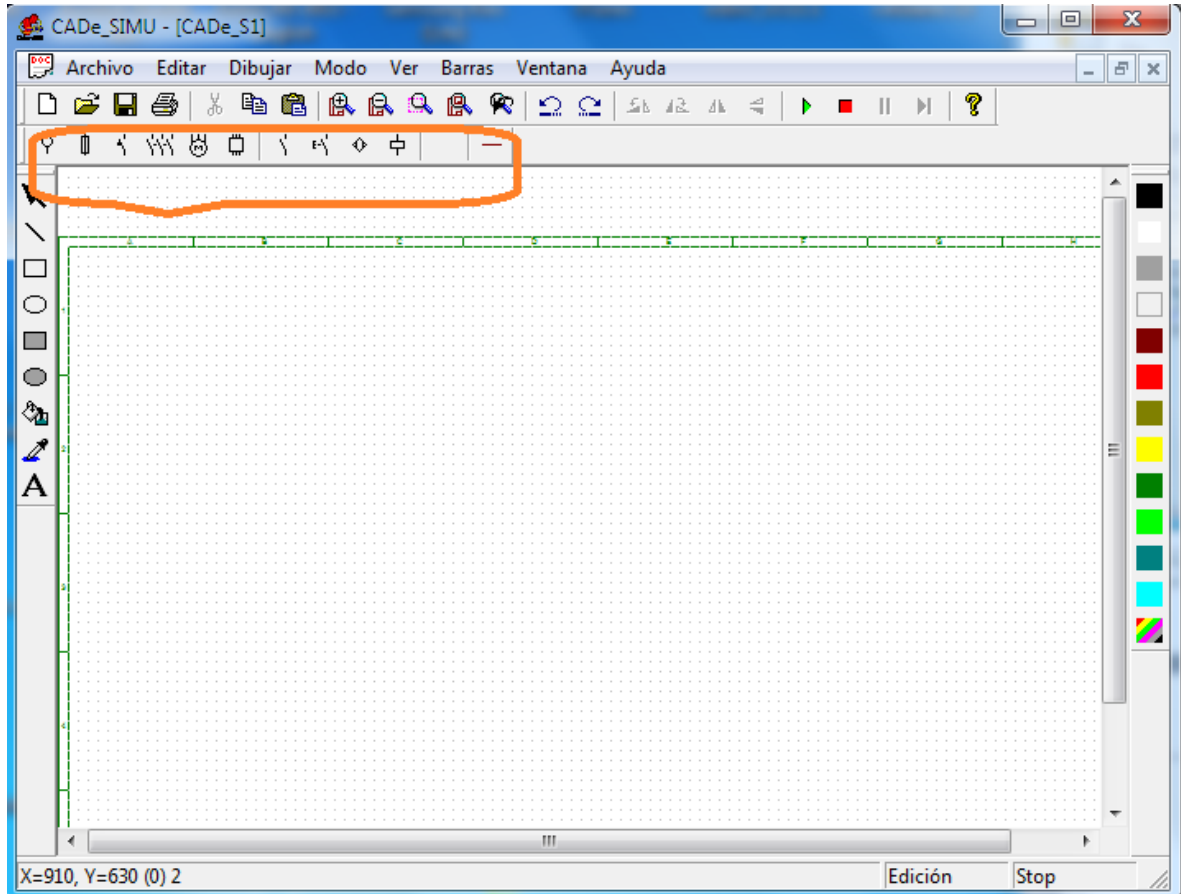
Inicio del programa , introducir clave 4962 (Importante si no introducimos clave no permitira guardar el programa diseñado.



Listo para editar o simular el automatismo electrico de la maquina



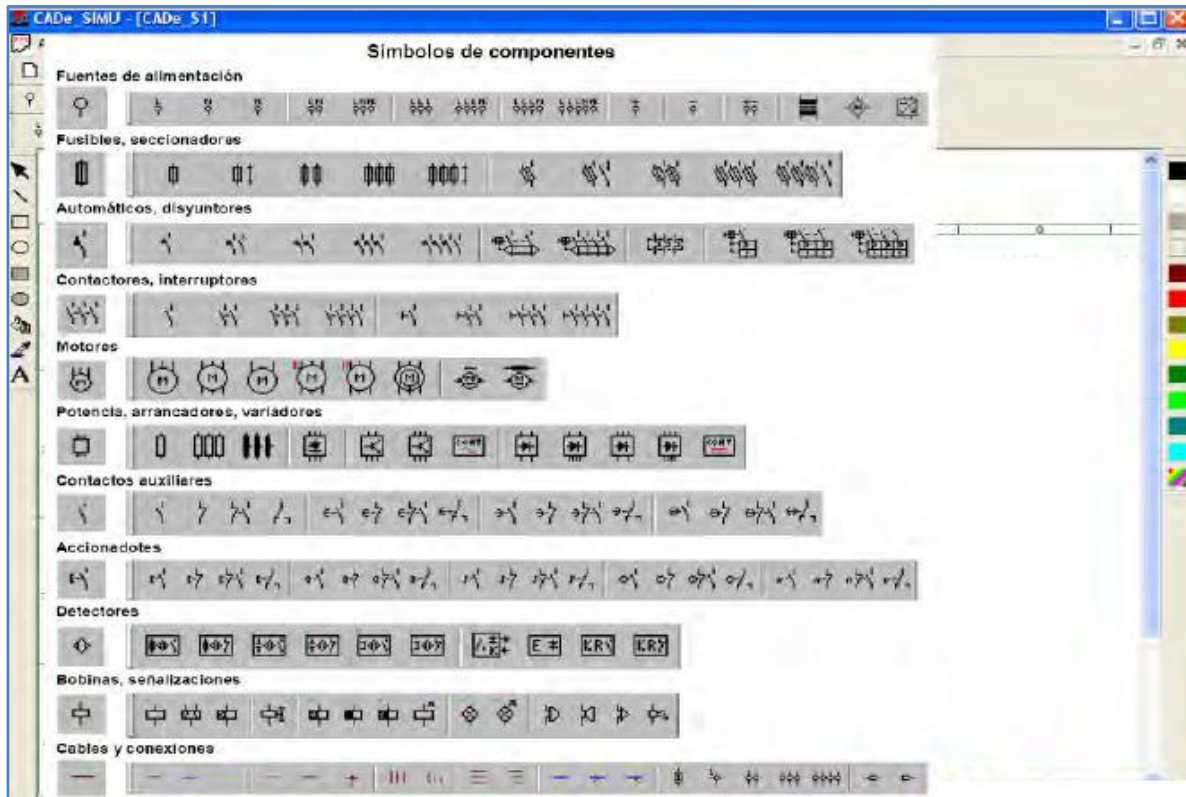
En la seccion seleccionada tendremos distintos componentes agrupados por categoria. Al pulsar sobre ellos se desplegaran en la parte inferior los distintos simbolos de los elementos de cada categoria.



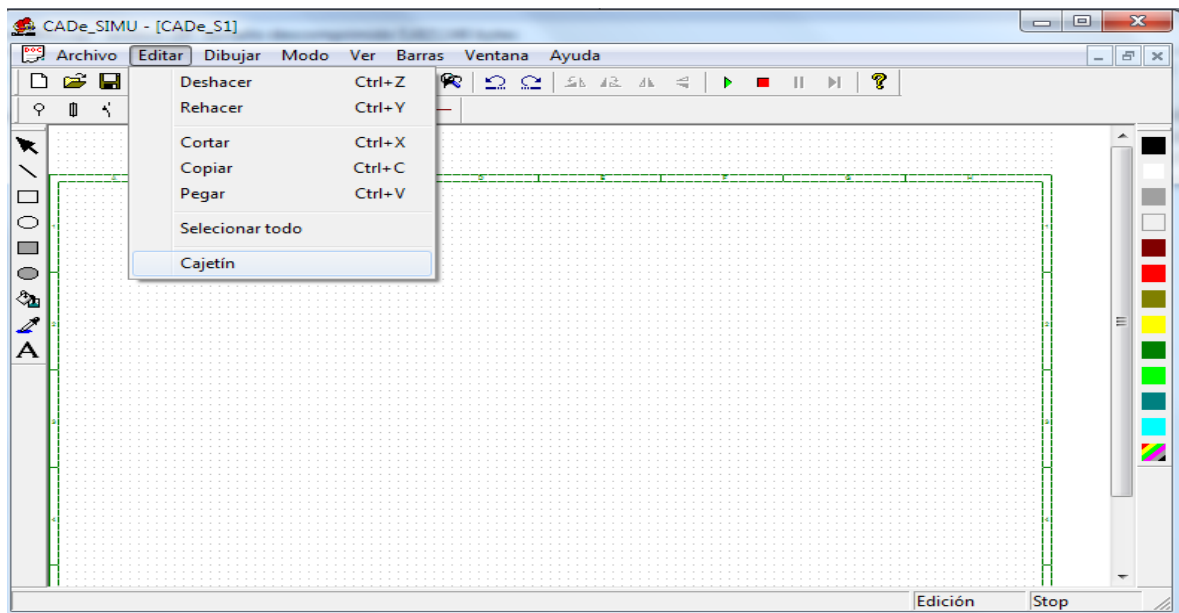
Las distintas categorias podemos verlas desplegadas en la pagina siguiente .
pasando el cursor por encima del componente , nos aparecera una descripcion del mismo .

Para insertarlo , bastara con pulsar sobre el y desplazar el cursor hasta el área de dibujo.

Simbolos de componenetes



En el menu de edicion podemos insertar los datos del esquema del cajetin.

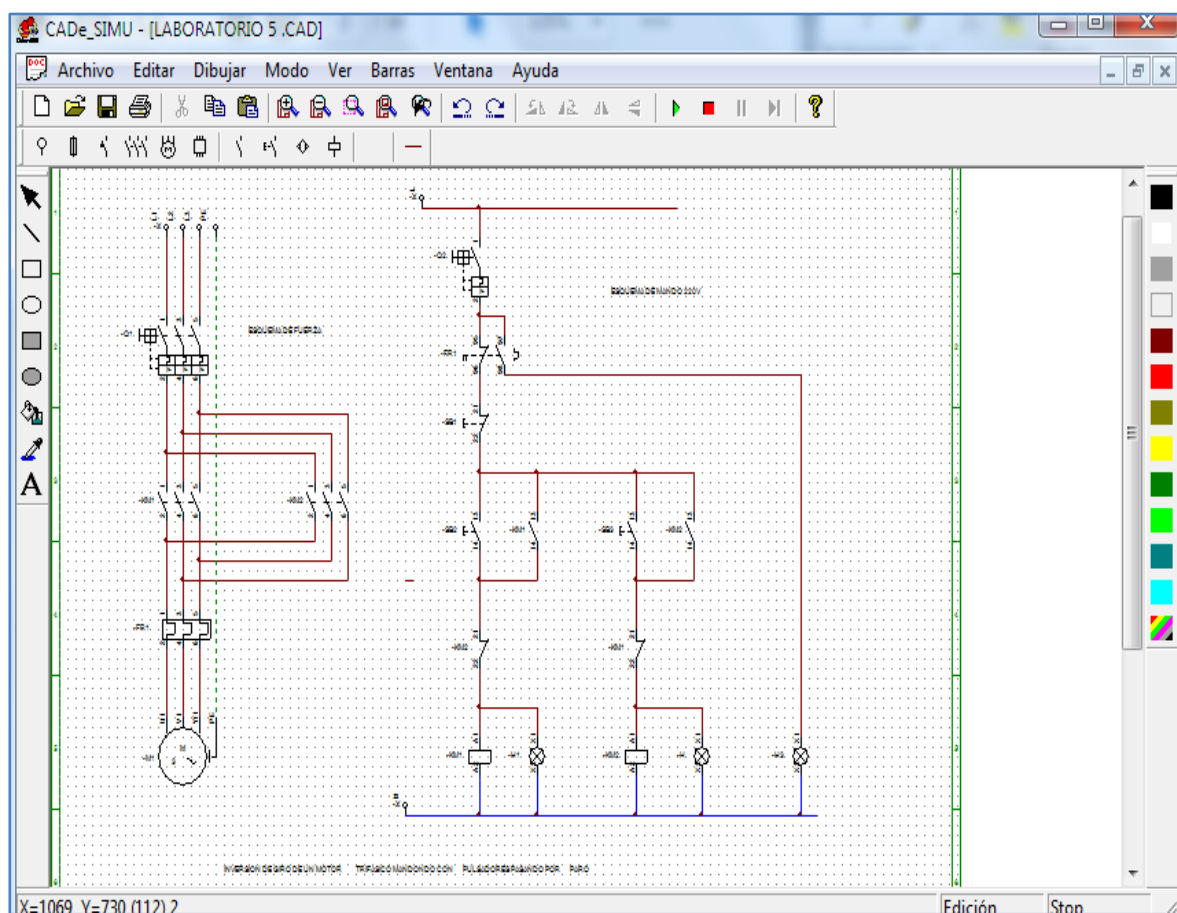


Este programa simula el funcionamiento de los esquemas , es necesario alimentar y conectar correctamente todos los componentes àra que la simulacion funcione de forma adecuada.

El marcado de los componenetes es muy importante , ya que todo lo que este identificado con el mismo nombre actuaran de modo simultaneo.

Se selecciona cada componente y se situaran en la zona donde lo queramos insertar , despues se identificaran en el esquema .

Ejemplo de un diseño electrico



IX. Elementos para el diseño del tablero de control

1) Tableros de control

Existen tableros de control industrial que son armados sin planos de montaje y sin diagramas de control dando problemas cuando presentan fallas difíciles de encontrar. En este capítulo se detalla cómo mejorar los tableros de control con planos de montaje y diagramas de control, así es fácil y cómodo encontrar alguna falla o daño de un elemento para reemplazar o corregir dicho problema.

Dentro del proceso de triturado de piedra es fundamental el control eléctrico, donde los tableros con elementos importantes como contactores, arrancadores suaves, variadores de velocidad y elementos secundarios como luces pilotos, pulsadores, relés auxiliares permitirán al operador de trituración manejar el proceso de trituración de piedra de una manera fácil y sencilla.

Estos tableros serán los encargados de controlar a los motores de la trituradora de piedra, los tableros deben ir en un cuarto con todos lo necesario para su funcionamiento por ejemplo: si es de clima cálido el ambiente de trabajo de los tableros eléctricos, estos deberán estar acondicionados por un aire acondicionado para evitar que los conductores eléctricos y demás elementos se sobrecaliente debiendo estos trabajar a una temperatura de ambiente especificada por el fabricante.

El diseño del tablero eléctrico de control debe ser ajustado para la operación de arranque de trabajo de los motores de la trituradora, con el objetivo de no detener el proceso de trituración de la piedra durante 12 horas continuas de trabajo.

Para el proyecto se diseñaran tableros de control eléctrico con sus respectivos elementos tanto principales como secundarios y una consola donde se colocara pulsadores y luces piloto para un mando a distancia desde una cabina para un

operador de trituradora. En la figura se muestra un diseño de los tableros a utilizado en un proyecto.



2) Elementos de control

La selección de los elementos de control para el proceso de triturado se los elige conforme a nuestro diseño en los planos eléctricos de control, ajustándose a los requerimientos de implementación de una manera fácil, cómoda y segura.

Los elementos que van a intervenir como lo son relés auxiliares, relés térmicos, plc, borneras de control, barras de cobre, arrancadores suaves, variadores de velocidad, breakers, luces de indicación, pulsadores, contactores, transformadores, los cuales se los detalla a continuación con su respectiva característica.

➤ RELÉ AUXILIAR

Es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes, ver figura



➤ CONTACTOR

Es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se de tensión a la bobina. Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada". Se puede observar la figura el modelo de un contactor.



Existen características que detallan para elegir este dispositivo de control, se describe los contactores a utilizar en el ensamblaje de los tableros eléctricos, son de bajo amperaje y de marca WEG sugerido por los distribuidores de la trituradora.

-
- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
 - Potencia nominal de la carga.
 - Condiciones de servicio: ligera, normal, dura o extrema
 - Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
 - Por la categoría de empleo, en nuestro diseño categoría AC3 que es para arranque de motores de inducción.

➤ RELÉ TÉRMICO

Es un elemento de protección que se ubica en el circuito de potencia después de contactor para sobrecargas. Su principio de funcionamiento se basa en la deformación de ciertos elementos, bimetales, bajo el efecto de la temperatura, accionando unos contactos auxiliares que desactiven el circuito y energicen al mismo tiempo un elemento de señalización de indicación de falla.

Los bimetales comienzan a curvarse cuando la corriente sobrepasa el valor nominal para el cual han sido dimensionados. El tiempo de desconexión depende de la intensidad de la corriente que circule por las placas bimetales.

En la figura se puede observar el relé térmico,

Es necesario saber la característica para su correcta elección: $I_N \times 1,15\%$ Se debe multiplicar la corriente nominal del motor por 1,15 para seleccionar el relé térmico correcto para el arranque del motor de inducción.



➤ BREAKERS

Es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Los utilizados en el diseño de nuestros tableros van hacer de dos tipos:

- Breaker de caja moldeada.
- Breaker magneto térmicos.

✓ BREAKER DE CAJA MOLDEADA

Los interruptores de caja moldeada están diseñados para la protección de circuito de sistemas de distribución en baja tensión de carácter industrial, su principal función es la protección contra las sobrecargas y cortocircuitos.

Cuando la potencia absorbida es superior a la prevista se produce una sobrecarga, observar figura.



Su característica para su elección es:

Multiplicar por 1,25 por la corriente nominal (I_N) y se obtiene la corriente de protección (IP) y dimensionamiento de este dispositivo. $IP = 1.25 \times I_N$

➤ BREAKER MAGNÉTICO TÉRMICO

Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.



El electroimán protege el circuito eléctrico cuando se ha producido un cortocircuito en el mismo de una forma instantánea. La lámina bimetálica actúa cuando en el circuito eléctrico se ha producido una sobrecarga. Ver figura

Para la selección de este dispositivo se toma en cuenta la siguiente característica:

- Protección de la corriente está entre 3 y 20 veces la corriente nominal.

- **LUZ PILOTO**

Son indicadores luminosos que permite visualizar los estados y los diferentes procesos que realizan los tableros.

Se utilizan dos colores de luces pilotos en cada tablero con lo que se asegura al operador obtener una buena visualización y la posibilidad de tener vigilado por medio de estos el funcionamiento de cada uno de los motores simultáneamente.

Se los elige por medio de su voltaje de funcionamiento, ya que existen en varios voltajes en nuestro diseño utilizamos las luces pilotos a 220 V. En la siguiente figura se observa las luces piloto a utilizar, son de tipo led y de un diámetro de 22 mm.



➤ PULSADORES

Son aparatos de maniobra que tienen retroceso, accionados manualmente y utilizados para accionar manualmente pequeñas potencias. Son utilizados fundamentalmente en el mando de motores eléctricos y también para abrir y cerrar circuitos eléctricos de control principales y auxiliares.

Los utilizados en nuestro diseño por facilidad de maniobra son los pulsadores de montaje saliente y los pulsadores de emergencia (tipo hongo). Ver figura. Tienen una característica que conducen pequeñas cantidades de corriente eléctrica.

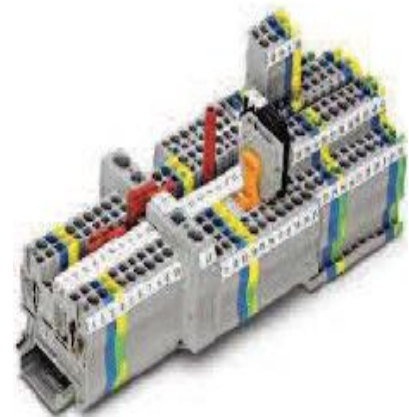


➤ BORNERAS DE CONTROL

Es un dispositivo simple de conexión, diseñado para establecer conexiones eléctricas perdurables y confiables. Está compuesto por dos partes un cuerpo aislante y un cuerpo conductor. En el anexo 8 sus características se las detalla con exactitud.

Los que se utilizan en el diseño de los tableros de control son de 2.5 mm², ver figura, y sus características son las siguientes:

- Identificación por ambos laterales del borne.
- Conexión de cables mediante la sujeción con tornillos reduciendo puntos calientes producidos por la circulación de la corriente eléctrica.
- Resistente cuerpo aislante.



➤ FUSIBLE ULTRA RAPIDO

Están conformados con una sección de hilo fino, más fino que los conductores normales, es colocado en la entrada del circuito que se va a proteger.

Cuando aumenta la corriente, debido a un cortocircuito, este se calienta, y por tanto es el primero en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno.

Los fusibles rápidos se funden en un segundo para:

$I = 2,5 I_f$: I_f es la corriente de fase en el circuito

Con esta fórmula se dimensionan los fusibles ultra rápidos a utilizar en nuestro tablero de la trituradora

X. Diseño propuesto de la lógica del sistema de protección

1. Descripción breve del funcionamiento de un triturador secundario

Por ejemplo para su funcionamiento, la trituradora de piedra marca MINYU posee varios motores (17 en total), un generador es el encargado de alimentar los tableros eléctricos de control, este generador proporciona la energía eléctrica a través de cables número 3/0 a unas barras de cobre colocadas en los tableros de control. Estas barras son colocadas con el propósito de suministrar la energía a 440 V a cada uno de los tableros, como son dimensionadas y fabricadas .

El ciclo de trabajo normalmente ejecutado, es cuando se use el ciclo manual, este ciclo inicia con el presóstatos cerrado de la bomba de lubricación de la trituradora de cono (trituradora secundaria).

Con el presóstatos cerrado se activa una sirena que indica que la trituradora esta lista para operar y este a su vez habilitan los arrancadores suaves de los motores de inducción de la trituradora de piedra apareciendo la palabra RDY en los display de los arrancadores suaves.

2. Diseño de la lógica de protección del triturador

En este apartado se abordará el diseño de la instalación desde un punto de vista eléctrico. Los aspectos más importantes a tratar serán por un lado el dimensionamiento de la instalación, la elección de los equipos y el cumplimiento de la normativa NEMA , NEC y CIEN.

El rediseño del sistema automatizado de protección del triturador secundario, nace de la necesidad de proteger un motor de 180HP , en unas condiciones específicas de seguridad.

La alimentación de los equipos se realizará con tensiones de línea de 240 V para los circuitos trifásicos y 120V para los monofásicos, ambos en alterna. Los circuitos de mando se alimentarán a 24 V en continua.

3. flujo de proceso



4. Secuencia lógica para el funcionamiento de las protecciones

➤ **Se necesita proteger un motor de 180 hp bajo los siguientes criterios.**

- Protección por flujo de lubricación (3 glns por min)
- Protección por temperatura

➤ **procedimiento**

Se enciende la bomba lubricadora , Una vez alcanza el flujo deseado se activa un timer (retardo a la conexión), este activa el motor del triturador secundario(cono).

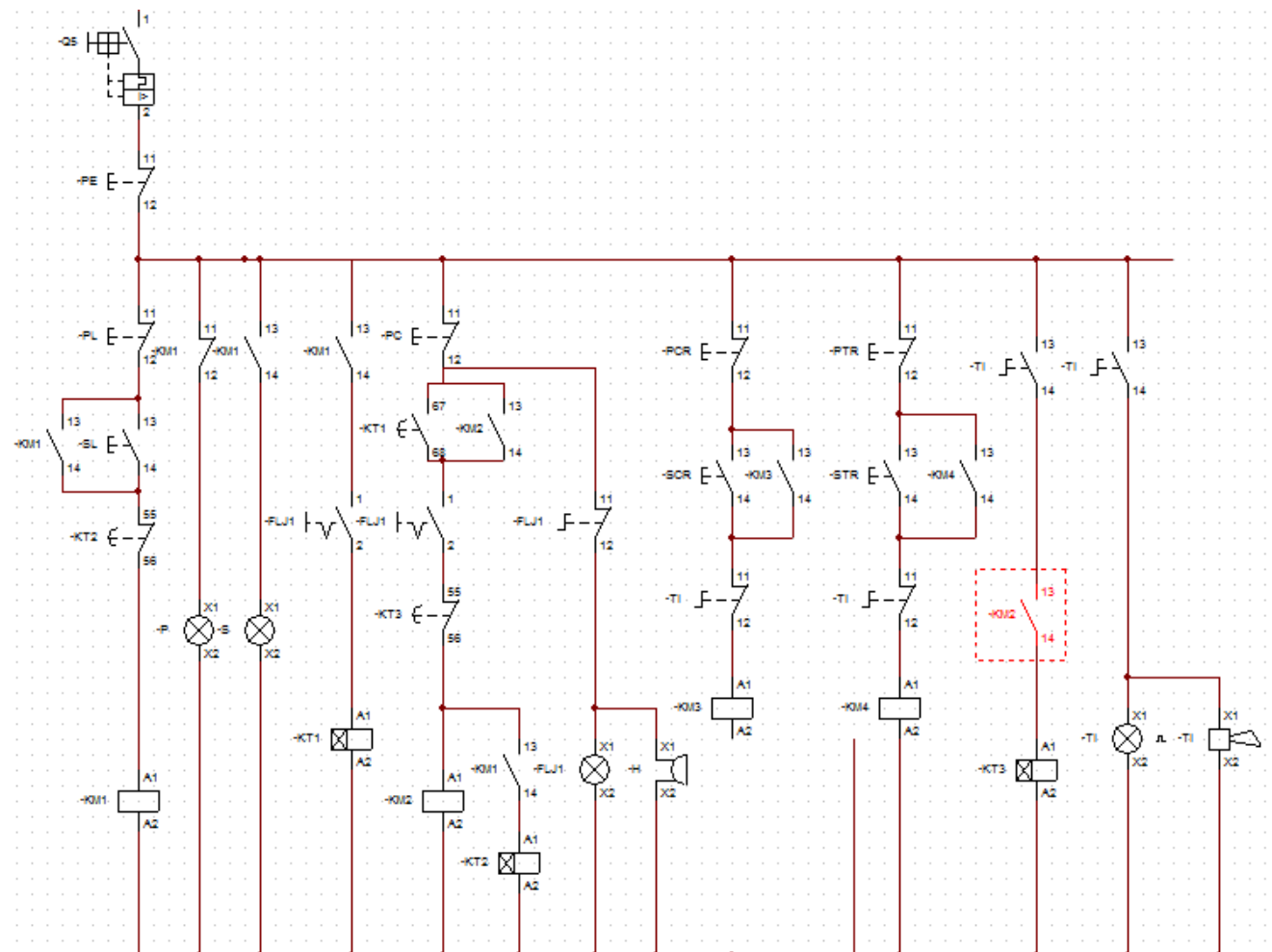
Una vez que arranca el cono se, activa un timer el cual manda a parar la bomba lubricadora, y queda en servicio la del triturador.

Se ponen en marcha ,motor de criba que alimenta el cono y motor de transportador que alimenta la criba.

➤ Protecciones

El triturador no arranca, mientras no tenga suficiente flujo de lubricación. Si la temperatura de lubricación supera el set point se detiene inmediatamente el motor de la criba y el motor de la banda que alimenta la criba, también se activa un timer el cual da cierto tiempo para q el triturador desaloje la recamara de trituración y luego se detenga. Se debe activar alarma sonora y alarma luminosa para ambas protecciones.

5. Diseño del circuito mando del sistema de proteccion del triturador



LEYENDA

KM1: CONTACTOR PARA BOMBA PRE LUBRICADORA

KM2: CONTACTOR PARA MOTOR DEL CONO

KM3: CONTACTOR PARA MOTOR DE CRIBA

KM4: CONTACTOR PARA MOTOR DE TRANSPORTADOR

KT1: TIMER DE RETARDO A LA CONEXIÓN PARA MOTOR DEL CONO

KT2: TIMER DE RATARDO A LA DESCONEXION DEL MOTOR DE LA
PRELUBRICADORA

KT3: TIMER DE RETARDO A LA DESCONEXION PARA MOTOR DEL CONO

FLJ1: FLUJOMETRO

TI: SENSOR DE TEMPERATURA

P: LUZ PILOTO DE MOTOR DESACTIVADO DE PRE LUB

S: LUZ PILOTO DE MOTOR EN MARCHA DE PRE LUB

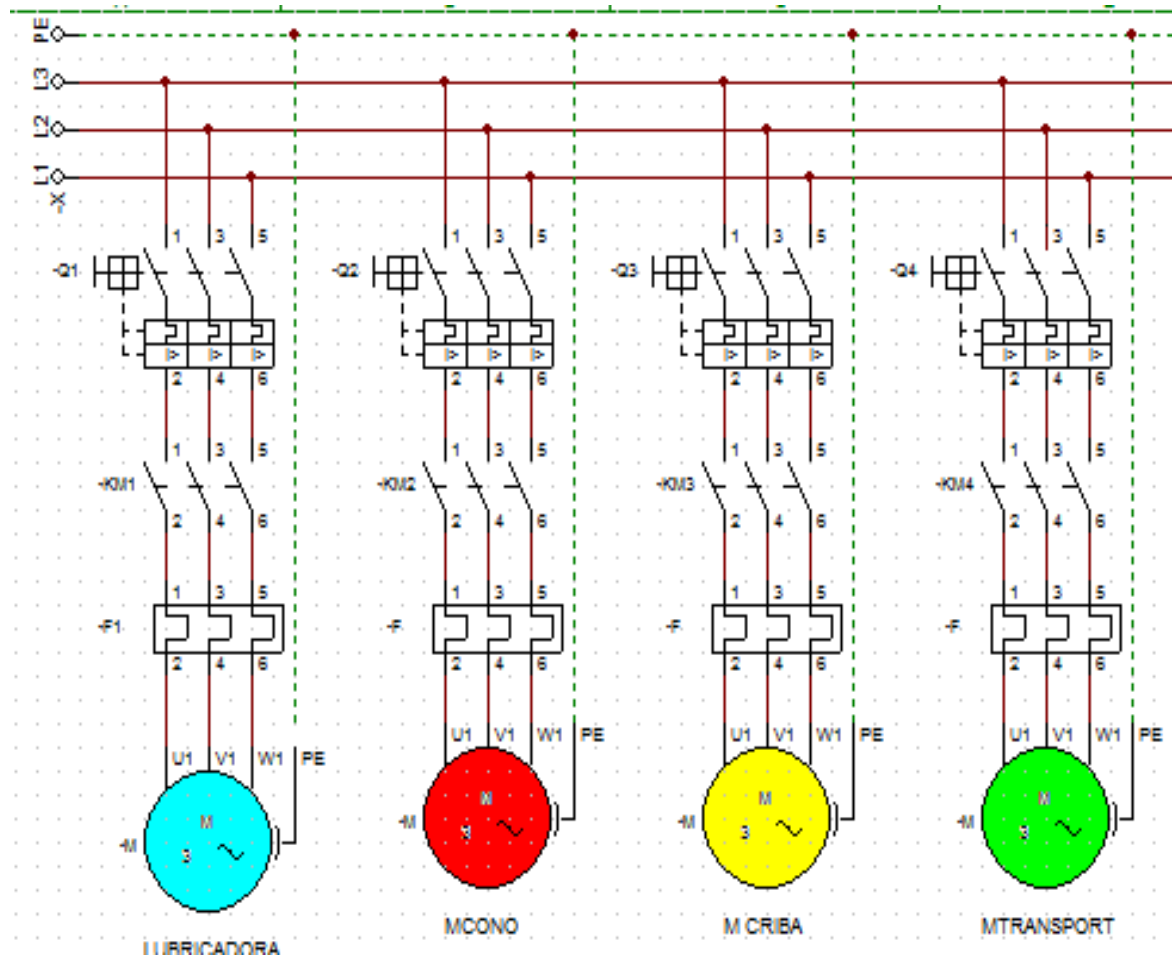
FL1: LUZ PILOTO DE ACTIVACION POR BAJO FLUJO

FL2: ALARMA SONORA DE BAJO FLUJO

TIP: LUZ PILOTO DE ACTIVACION POR ALTA TEMPERATURA

TIP2: ALARMA SONORA DE ALTA TEMPERATURA

6. Diseño del circuito de fuerza del sistema de protección del triturador



XI. Procedimiento para el montaje del tablero de control

Este tablero va a constar de breaker magneto térmicos , relé térmicos , contactores , temporizadores , pulsadores (Paro-marcha), luces piloto, bocinas, paro de emergencia, relés auxiliares, transformador de 440 V – 220 V, breakers de caja moldeada para los motores , breakers para el control, juego de barras, borneras de control y canaletas.

El software de dimensionamiento CADE-SIMU nos dio como resultado que para los motores de la lubricadora, cono, criba y transporte necesitamos diferentes elementos de automatismo y control.

Una vez armado el tablero en la parte mecánica, , se procede con el plano de montaje previo diseñado en CADE-SIMU para colocar los elementos en el interior del tablero, siguiendo los siguientes pasos de montaje:

1. Realizar la colocación de las canaletas plástica 40x40 mm con ranura en todo el interior del tablero formando un cuadro y también la colocación de la riel din en la cual van a ir los elementos de control.



-
2. Se continúa con el anclaje de los breakers de caja moldeada para los para los motores . Ver figura.



3. Se continúa con la colocación, breakers para control eléctrico, borneras y relés auxiliares de 3 polos con bobina a 220 V.
4. Una vez anclado los elementos en el interior del tablero se arma la puerta del tablero, la puerta contiene los pulsadores de paro y marcha de 22 mm, pulsador de paro de emergencia de 22 mm y luces piloto de indicación de prendido y apagado para este tablero se utilizaran 7 luces piloto color rojo de 22 mm, 7 luces piloto color verde de 22 mm, 7 pulsadores de marcha (verde), 7 pulsadores de paro (rojo) y un pulsador paro de emergencia.

XII. Conclusiones

Se logro rediseñar el esquema eléctrico del triturador secundario que proporciona mejor protección y rendimiento del triturador. Los planos diseñados de control y fuerza en este proyecto favoreceran en un 100% al personal de mantenimiento y técnicos para localizar las fallas cuando estas ocurran.

Se finalizo satisfactoriamente los diagrama de fuerza y mando para el control y proteccion del triturador secundario.

Se logro estudiar las características de los diferentes tipos de máquinas trituradoras.

Se Utilizo el software de simulación CADE_Simu para el diseño del sistema automatizado de la trituradora.

Mediante el plano de montaje en el armado de un tablero eléctrico de control nos permite identificar cada elemento y su ubicación dentro del mismo, siendo este mas funcional .

XIII. Bibliografía

- Pérez, R. C. (1999). Fundamentos de Mecanismos y Máquinas para ingenieros. Madrid: Mc Graw Hill.
- Chapman, Stephen J. Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill. 2005. Pág 382, 389, 452, 458.
- ROLDÁN VILORIA José. Motores Eléctricos Automatismos de Control. Editorial Paraninfo. Madrid. 1989.
- FITZGERALD A. E. Máquinas Eléctricas. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1986.
- DANFOS, “Generalidades sobre variadores de velocidad y arrancadores suaves”. [Material gráfico proyectable].2007.
- *Elementos de Máquinas*. México: Ed. Prentice Hall.
- ROJAS, Héctor Fabio, Instalación de un Variador de velocidad [Dispositivas]. Universidad Autónoma de Occidente 2011. 28 diapositivas.
- SABACA, Mariano (2006). Automatismos y cuadros eléctricos. McGraw Hill.
- TARANTINO ALVARADO, Rocco y ARANGUREN ZAMBRANO, Sandra. “Introducción y diagnóstico de fallas en la industria.”[Material de apoyo para la asignatura IMOSI].Universidad de Pamplona.
- Metso Minerals Industries, In. Chancadoras de cono serie MP 1219-01-02-MBL/Waukesha ©2010 Metso Impreso en EE.UU.